

## 鋼材の表面処理による溶射アルミニウム 皮膜の接着強さの変化について

池 村 恭 一\*・藤 田 哲 男\*

### Correlation of Surface Treatment Processes of Steels and Bonding Strength of Gas Sprayed Aluminium Coatings on Them

Kyoichi IKEMURA, Tetsuo FUJITA

(Received Apr. 15, 1974)

Tension and shear tests have been carried out to clarify the effects of surface treatments of carbon steel and stainless steel on the bonding strength of gas sprayed aluminium castings on them. Surface treatments of steels used in this investigation consisted of polishing by emery paper, sand blasting and acid pickling respectively. In addition, effect of Ni-Al undercoating which sprayed after above treatments was tested.

Aluminium coatings sprayed on the surfaces polished by emery paper and acid pickled were easy to peel off from steel surfaces during spraying and Ni-Al undercoating was useful in order to improve on bonding strength. Thickness of this undercoating was enough at most 0.05mm. Due to this undercoating, carbon steel polished by sand blasting and stainless steel pickled in acid were established strong bonding strength. These treatments generated on the surface of steel the optimum pitting shapes which provided sprayed aluminium with anchoring effect. Bonding strength of coating was highly increased by the use of annealing process after deposit.

#### 1. 諸 言

金属を繊維で補強した複合材の強化の効果は、複合材にかけられた応力が金属マトリックスを媒体としていかに完全に繊維に伝えうるかということによってきまってくるので、もしマトリックスと繊維との界面での結合が脆弱であればマトリックスに与えられる応

力を繊維に伝達することができないので繊維による強化は期待しがたい。このように複合材の強化に大きな影響をおよぼす繊維とマトリックスとの良好な結合状態をうるには、繊維の表面の微細な凹凸にマトリックスがしっかりと食込んで機械的結合がえられるとともに、繊維とマトリックスとの接触面でのぬれ性を向上

\*機械工学科

せしめるようにし、さらに界面反応により最少必要な厚さの反応層の生成が起ることなどが必要であるといわれている。このために、複合材の作製にあたって適当な元素を繊維の表面にメッキしたり、あるいはスパッタリングしてコーティングを行い、マトリックスとの接合をよくする下地面を得るように種々試みられている。

本研究は、鋼線にアルミニウムを溶射して複合材を作ることを考えて、溶射前の鋼材の表面処理がどのようにアルミニウムの溶射層の接合強さに影響を与えるかを知るために行ったものである。

## 2. 実験の方法

本実験においては溶線式ガス溶射法により種々の方法で前処理をしたS35C炭素鋼およびSUS304ステンレス鋼の棒材の上に、直径3.15mmのアルミニウム線を用いて溶射し、アルミニウムと鋼との接合強さを測定した。接合強さの測定法としては引張りおよび剪断試験を行った。引張試験は図1に示すように、試験用棒材の端面を後述の前処理を行った後アルミニウムを

0.5mmの厚さに溶射して、この溶射面と引張り用鋼棒の端面とをアクリル系接着剤で互に接合して12時間放置後図2に示すような形状・寸法をもった保持具に取付けてアムスラー型万能試験機により、図の矢印の方向に引張って両面を引離すに要した荷重を測定する方法である。剪断試験片は前処理を終った鋼材を写真1に示す回転装置に取付けて550r.p.m.の回転速度で回転しながら、他方溶射ガンを10cm/sの速度で左右に横行させて厚さ約5mmにアルミニウムを溶射し、図3のような形状・寸法のものを5個取りした。このようにして作製した試験片を図4に示すようにダイスに滑合させてアムスラー型万能試験機によりその中に圧入して剪断試験を行った。この場合、圧縮荷重が均一にかかるように球面座を用いた。図3に示すように、溶射皮膜に軸に平行に巾約1mmの鋸目を素材に達するまで入れてあるが、これは溶射後の冷

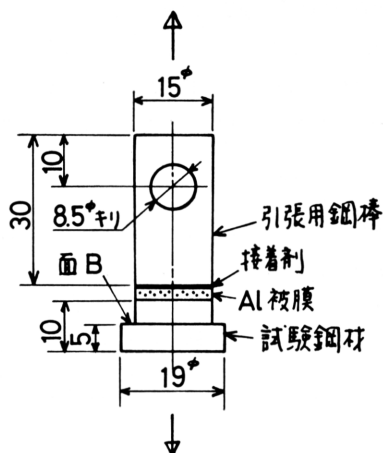


図1 引張結合試験片

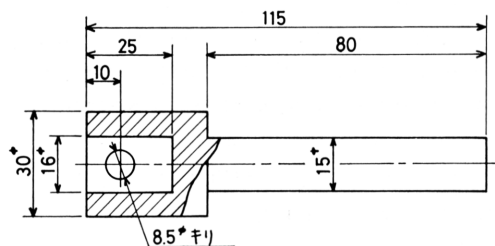


図2 引張試験片保持具

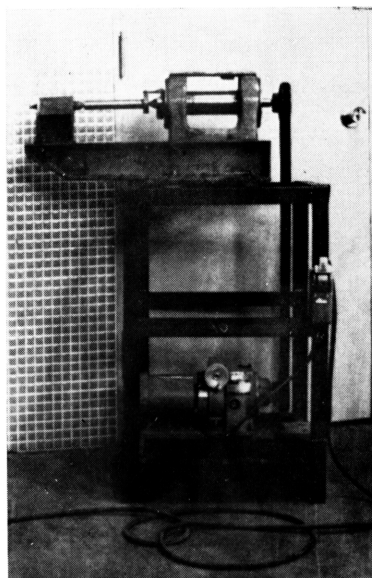


写真1 溶射試料回転装置

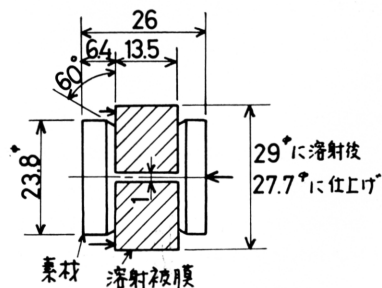


図3 剪断試験片

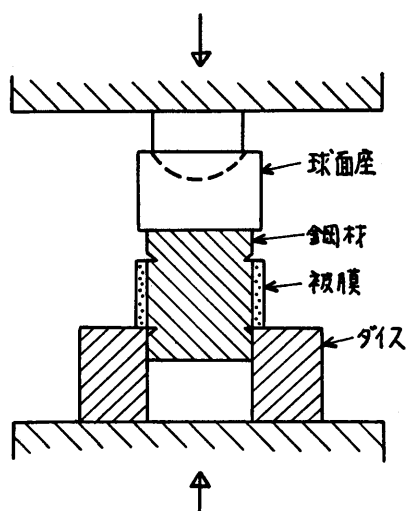


図4 剪断密着試験

却により皮膜に発生した緊縮力を開放するためである。

試料として用いた炭素鋼およびステンレス鋼ともにそれぞれ引張試験用は直径19mmの棒から15mmに、そして剪断試験用は直径25mmの棒から23.8mmに旋削してつぎのような前処理をした。

#### 1) エメリーペーパー研磨

引張りおよび剪断試験片とも溶射面を#150エメリーペーパーで旋削バイト目がきれいに消えるまでよく注意をして研磨した。

#### 2) サンドブラスト研磨

1) のようにエメリーペーパー研磨した試料をサンドブラストの吐出口から約10cmの距離を保ちながら研磨した。研磨剤としてはMETCOLITE, NON-METALLIC GRITT, 4200を用い、吹付圧力は7 kg/cm<sup>2</sup>である。

#### 3) 酸洗

1) のようにエメリーペーパー研磨した炭素鋼は常温の7%硝酸液中で15分間、またステンレス鋼は29%硝酸と14%塩酸の混酸液中に常温で20分間浸漬した後十分に水洗した。

#### 4) Ni (80%) - Al (20%) の下地溶射

上述のような研磨とか酸洗処理は溶射の実作業において素材と溶射皮膜との接合を高めるためによく採用されているものであるが、これらの前処理法は作業技術の巧拙に負うところが多いために安定した接合力が得にくいといわれている。これに対して、素材と溶射金属層との間に適当な金属を薄く下地溶射させておくと

両者の間に安定して良い接合がえられる例も知られている。本実験では鋼材に下地処理として、上記の1)～3)までの前処理を行ったものにさらにNi-Alを薄く溶射してその効果を調べることにした。なお、下地溶射皮膜の厚さが接合力におよぼす影響をみるために、その厚さを0.03, 0.04, 0.05および0.06mmに変えて引張試験をした。表1にNi-Alの溶射条件をしめす。

表1 Ni-Al およびアルミニウムの溶射条件

溶 射 条 件		Ni-Al	アルミニウム
圧 力 psi	空 気	65	65
	酸 素	14	15
	アセチレン	28	30
流 量 CFM	空 気	53	53
	酸 素	46	44
	アセチレン	44	40
溶線の送り速度 cm/10sec		16	72
溶 射 距 離 cm		20	

以上の前処理あるいは下地溶射をした試料にアルミニウムを表1に掲げる条件で溶射して鋼材との接合強さを調べた。

## 4. 実験の結果

試験をした各種処理の中で #150エメリーペーパー研磨しただけのものおよび酸洗だけのものはいずれも溶射過程でアルミニウム皮膜が剝離しやすく、結合性のないことがわかった。アルミニウムの結合性を強くするためには鋼材にNi-Alの下地溶射が必要である。

炭素鋼について前処理を変えて接合力を試験した結果を図5および6にしめす。これらの図から引張りおよび剪断試験ともにサンドブラストをしてNi-Alの下地溶射をした場合が最も大きい接合力がえられている。同様に、ステンレス鋼について試験した結果を画いた図7および8をみるに、引張りおよび剪断試験ともにサンドブラストのみでは接合力はほとんどえられておらないが、Ni-Alの下地溶射を行うことによって接合力がでて、その強さは #150エメリーペーパー研磨、サンドブラストそして酸洗の順に大きくなっており、炭素鋼の場合と異なりサンドブラストよりも酸洗

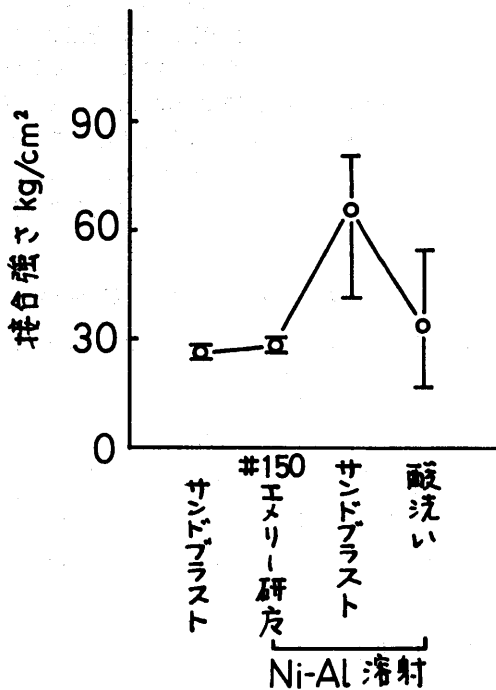


図5 炭素鋼の引張試験

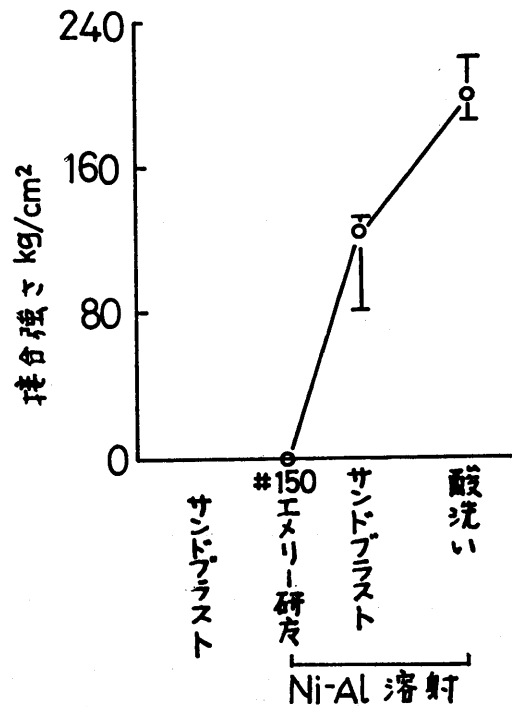


図7 ステンレス鋼の引張試験

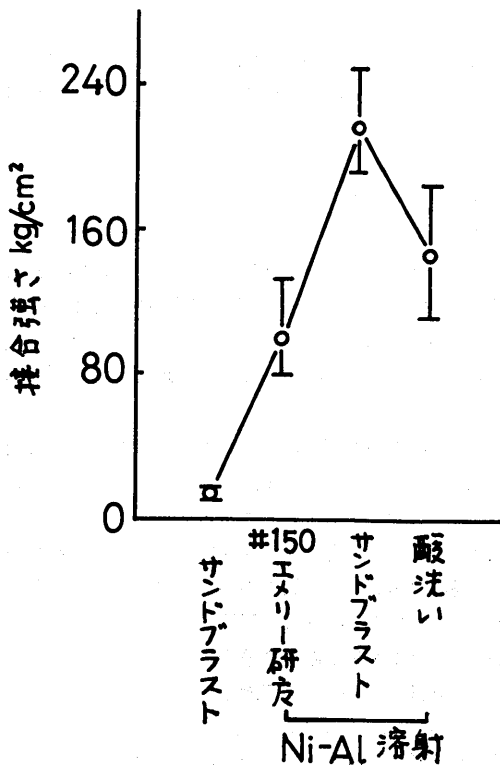


図6 炭素鋼の剪断試験

の処理のほうが結合力を増すには有効であることがわかる。溶射アルミニウムの結合強さによぼす焼鈍の影響について引張試験によって炭素鋼で試験したところ、溶射のままでは  $73\text{kg/mm}^2$  の結合力をえたのに対して溶射後  $560^\circ\text{C}$  で10分間焼鈍するとその値は  $160\text{kg/mm}^2$  にも向上した。Ni-Al 溶射皮膜の厚さの結合力におよぼす影響については図9にその結果をしめしたように、ステンレス鋼において  $0.05\text{mm}$  までは厚さの増加とともに結合力も大きくなって来るが、それ以上に皮膜を厚く溶射しても効果はほとんど認められない。

## 5. 考 察

素材への溶射皮膜の結合強さは、まず飛来してきた溶射金属粒子が素材表面に衝突してその凹部に機械的にからみつくと（投描効果といわれている）によって得られる。溶射金属と素材金属との間のぬれ性および界面反応などによる結合力の増加を考えるにしても、この投描効果を大きくするとともに素材の表面積を大きくしておくことは両者の結合力を増すためには有利である。しかし、前処理のいかにかわらず、前処理の後に Ni-Al の下地溶射をしなければ十分な

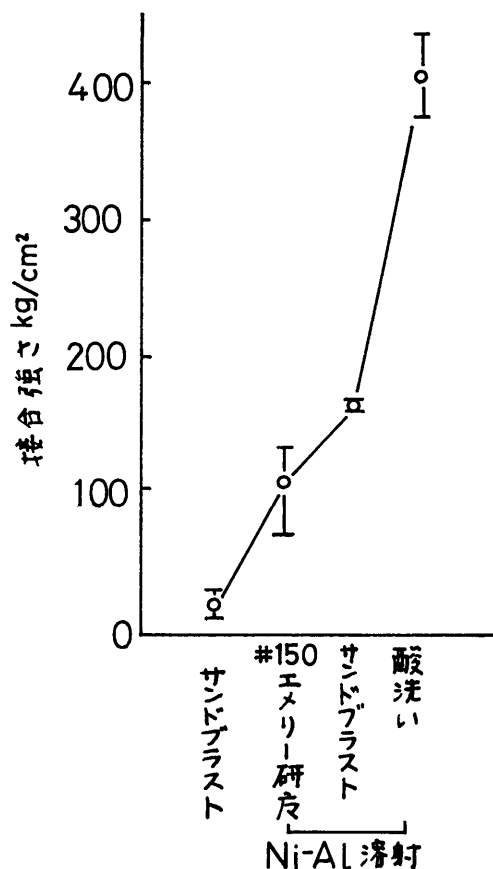


図8 ステンレス鋼の剪断試験

接合力が得られないことは溶射金属と素材とのぬれ性とか界面反応が接合力に大きく影響しているものと考えられる。このような例は軟鋼に炭素鋼を溶射した場合にみられる。<sup>1)</sup> 軟鋼に炭素鋼を溶射したものの破断は溶射粒子と軟鋼との接合部で起こるが、あらかじめ軟鋼に薄くモリブデンを溶射してからその上に炭素鋼を溶射したものでは破断は軟鋼とモリブデン粒子との間で生じないで、モリブデン粒子と溶射炭素鋼との間で生じていることが観察され、モリブデン粒子の軟鋼への接合性の高いことがわかる。その理由として、融けた状態のモリブデン粒子の酸化皮膜は薄いので素材と衝突した瞬間にその酸化皮膜は破られて清浄な高温のモリブデンとして素材面と接触し、その結果モリブデン粒子と素材面との間に融合が生じて金属結合が形成されるためと解釈されている。これと同じように、アルミニウムを炭素鋼に溶射した場合にも酸化されやすいアルミニウムには、溶射中に厚い酸化膜が生成さ

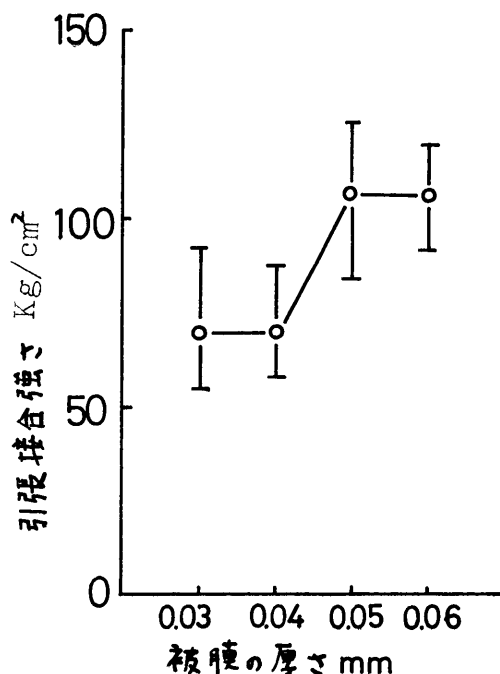


図9 Ni-Al 溶射被膜の厚さの影響 (ステンレス鋼)

図9 Ni-Al 溶射皮膜の厚さの影響 (ステンレス鋼)

れ、それが素材の鋼材の表面とのぬれ性を減じ、また界面反応を妨げるために強い接合が得にくいのである。これに反して、Ni-Al は耐酸化性の合金として知られており、溶射中に生成される酸化膜も薄いために、また鋼とも合金しやすいために、さきに述べたモリブデンと同じような作用をするものと思われる。

前処理によって素材表面の粗さとその形状が変わり、接合力に大きな影響を与える。エメリーペーパーで研磨しただけの試料の断面を写真2に示す。この写真からわかるように表面は非常に平坦で、その上に溶射された皮膜に対する投描効果はほとんど期待されず、したがって接合力も持っていない。サンドブラストをした試料の表面は、炭素鋼では写真3にその断面をしめすように研磨剤が表面に衝突することによってまざシャープに凹凸ができるが、その凸部は後続する研磨剤の衝撃により曲げられて凹部は入口のせまいきん着状の形となる。これに対して、ステンレス鋼で

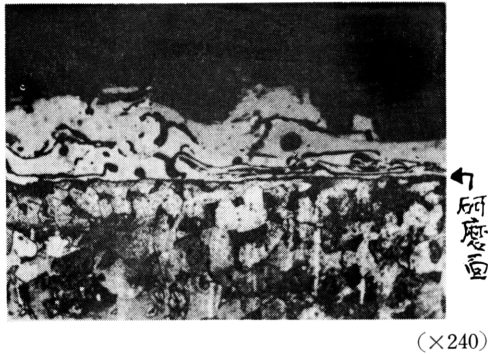


写真2 エメリーペーパーで研磨した炭素鋼の断面組織

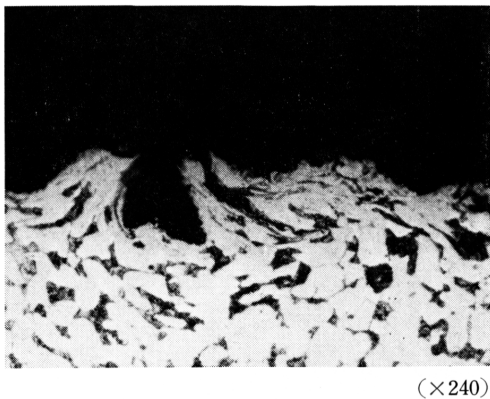


写真3 サンドブラストした炭素鋼の断面組織

はブラストによって凹凸のできることは炭素鋼と同じであるが、材質が硬いために凸部は曲げられることなく、写真4にみられるようにV字型の孔型となる。この両者を比べた場合に溶射金属はV字型の凹みよりもしん着型の凹みに噛込んだほうが入口のひっかかりのために剥れにくくなり、投描効果を増し接合力も強くなるのがわかる。

酸洗いをした場合には通常炭素鋼では浅い孔が、そしてステンレス鋼では深い孔ができやすいといわれている。本実験で行った酸洗いにおいても、炭素鋼の表面では浅いV字型の蝕孔がえられたのに対して、ステンレス鋼では写真5のようにしん着型の蝕孔があらわれた。実験によれば4節にのべたように炭素鋼ではサンドブラストをしたものにおいて、そしてステンレス鋼では酸洗したものにおいていずれも最も大きい接合力が得られているが、それぞれの処理によって素材表面に最も投描効果の大きい形状をもった孔型が得られたためと考えられる。

Ni—Alの地下溶射はアルミニウム溶射皮膜の鋼材に対する接合力を強めるために必要であるが、その厚

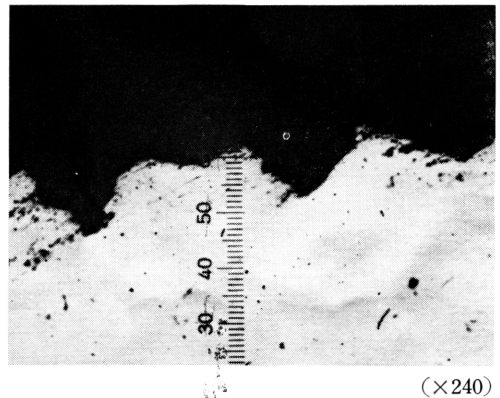


写真4 サンドブラストしたステンレス鋼の断面組織

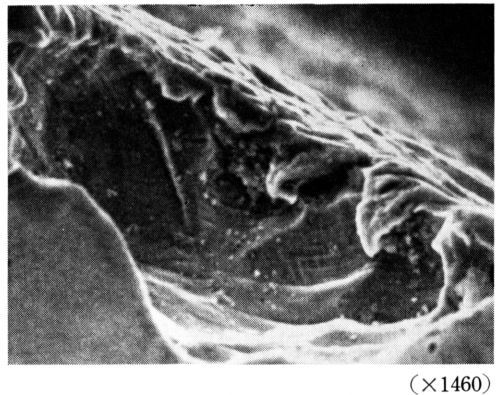


写真5 酸洗したステンレス鋼の蝕孔

さが薄すぎると素材表面の凹部を十分にみたすことができないので投描効果はそれだけ損なわれ、接合力も低下するのである程度以上の厚さにする必要がある。しかし、それ以上に厚くしても投描効果にはあまり影響はないので、本実験結果でも0.05mm以上に皮膜を厚くしても接合力はほとんど増加しておらない。

溶射後熱処理をすることによって皮膜の接合強度が増すことは一般によく知られていることであるが、本実験においても溶射後焼鈍すると、溶射のままの状態に比して接合力は非常に大きくなっている。これは焼鈍によって素材と下地溶射皮膜、下地溶射皮膜とアルミニウム溶射皮膜との間の金属結合が一層強められたためと考えられる。

## 6. 結 論

炭素鋼およびステンレス鋼に種々の前処理を施してアルミニウム線を用いてガス溶射し、アルミニウム溶射皮膜の接合強さにおよぼす前処理法の影響について調べた結果つぎのようなことがわかった。

- 1) エメリーペーパー研磨あるいは酸洗だけでは十分な接合強さは得られず、Ni—Al の下地溶射が必要である。
- 2) 炭酸鋼はサンドブラストにより、またステンレス鋼は酸洗によりアルミニウム溶射皮膜に対して投描効果を高めることができる。この投描効果の向上は前処理によって各素材表面に形成される凹

凸の形状と関係がある。

- 3) アルミニウムを溶射した後焼鈍することによって接合強さは著るしく向上される。

#### 参考文献

- 1) 蓮井淳，溶射工学，（昭和44年），136，養賢堂